

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Thomas IFFLAND et al.
Title: METHOD FOR AUTOMATIC FOCUSING
Appl. No.: Unassigned
Filing Date: 02/13/2004
Examiner: Unassigned
Art Unit: Unassigned

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application:

- FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY Patent Application No. 103 08 171.2 filed 02/27/2003.

Respectfully submitted,

By 

Date February 13, 2004

FOLEY & LARDNER
Customer Number: 22428
Telephone: (202) 672-5426
Facsimile: (202) 672-5399

Glenn Law
Attorney for Applicant
Registration No. 34,371

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 08 171.2

Anmeldetag: 27. Februar 2003

Anmelder/Inhaber: Leica Microsystems Jena GmbH, Jena/DE

Bezeichnung: Verfahren zur automatischen Fokussierung

IPC: G 01 N, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 5. November 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag



Kahle

"Verfahren zur automatischen Fokussierung"

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Fokussierung auf die Oberfläche einer Probe, bei dem die Probe durch einen Meßlichtstrahl, der mit einem von 0° verschiedenen Einfallswinkel auf die Oberfläche der Probe trifft, beleuchtet wird, von der Oberfläche der Probe reflektiertes Licht mittels einer positionsempfindlichen Empfangsfläche detektiert wird, Intensitätswerte des reflektierten Lichts in Zuordnungen zu Positionen auf der Empfangsfläche registriert und bewertet werden und die Öffnung einer Feldblende auf die Empfangsfläche abgebildet wird und dabei ein Bild, das kleiner als die Empfangsfläche ist, erzeugt, und bezieht sich auf das Problem einer zuverlässigen automatischen Fokussierung.


Im Stand der Technik sind verschiedene Verfahren zur automatischen Fokussierung bekannt. In der Schrift US 5,483,079 beispielsweise wird eine Methode zur Fokussierung auf die Oberfläche eines lichtdurchlässigen Objekts beschrieben, die auf dem Prinzip der Pupillenteilung basiert. Dabei wird mit Hilfe eines speziellen Empfängers die Symmetrie der Ausleuchtung im Fokuspunkt analysiert. Als Fokuspunkt wird die energetische Mitte der ausgeleuchteten Fläche auf dem Empfänger definiert. Ein solches Verfahren ist sehr schnell, hat aber auch den Nachteil, daß es sowohl auf Inhomogenitäten in der Reflexion der Probe als auch auf Kanten, wie sie beispielsweise bei strukturierten Wafern regelmäßig vorhanden sind, empfindlich reagiert. Durch das an solchen Strukturkanten entstehende Streulicht oder durch die inhomogene Reflexion werden Asymmetrien in der Ausleuchtung des Empfängers verursacht. Diese Asymmetrien in der Licht- bzw. Intensitätsverteilung werden vom Fokusmeßsystem als Abweichungen von der idealen Bildebene interpretiert, da der energetische Mittelpunkt eine andere Lage als bei homogener Ausleuch-

tung hat. Durch Verstellung der Bildebene wird versucht, diese vermeintlichen Abweichungen zu kompensieren. Dies führt zu einer Defokussierung.


Ein weiterer Nachteil solcher auf Pupillenteilung basierenden Fokussierungsverfahren ergibt sich aus der Art und Weise, wie sie üblicherweise realisiert werden, nämlich als zusätzliches optisches System zum Hauptstrahlengang: Das für die Fokussierung nötige Licht wird über einen Spiegel in den Hauptstrahlengang ein- und über einen anderen Spiegel auch wieder ausgeblendet. Zusätzlich zum eigentlichen optischen System, bei dem die entlang des Hauptstrahlengangs angeordneten Komponenten beispielsweise der Analyse der Schichtdicken dienen, müssen also noch weitere Komponenten bereitgestellt werden. Darüber hinaus wird in der Regel als Lichtquelle für das der Fokussierung dienende System ein Laser verwendet, der in einem schmalen Wellenlängenbereich im Infraroten arbeitet. Bei Schichtkombinationen bestimmter Materialien kommt es dabei zu wesentlichen Reflexionsvermindernungen, so daß eine Fokussierung überhaupt nicht mehr möglich ist.

Andere, sogenannte intelligente Fokussierverfahren benutzen den Bildinhalt selbst als Kriterium für die Fokussierung. Das Bild der Probe wird bei solchen Verfahren im allgemeinen auf einen CCD-Empfänger abgebildet und hinsichtlich verschiedener Schärfekriterien untersucht. Auch diese Verfahren weisen eine Reihe von Nachteilen auf. So muß zum einen das Bild eine Struktur aufweisen, damit die Schärfe überhaupt analysiert werden kann. Dies ist aber nicht bei allen Proben der Fall. Zum anderen ist der Fangbereich sehr klein und daraus resultierend der optimale Fokuspunkt nur schwer zu finden. Die Ursache dafür ist in der Art und Weise, wie das Verfahren durchgeführt wird, zu suchen: Wenn man mit Hilfe eines Meßgerätes an einen Meßort auf der Probe heranfährt, wird in der Regel die Abweichung vom Fokuspunkt so groß sein, daß im Bildfeld alle Strukturen extrem unscharf sind und daraus kein Kriterium für die Schärfe abgeleitet werden kann. Darüber hinaus ist anfangs unbekannt, in welche Richtung die Bildebene verstellt werden muß, damit das Bild schärfer wird. Diese Probleme werden dadurch gelöst, daß man beim Durchfahren eines großen Schärfenbereichs eine Bildserie in einer Sequenz von Bildebenen aufnimmt und anschließend die Fokusebene, das heißt, die

Bildebene, die den Fokuspunkt enthält, mit der Bildebene des Bildes mit der größten Schärfe gleichsetzt. Auf diese Weise findet man aber nicht zwangsläufig den Fokuspunkt, dessen Bildebene nicht unbedingt in der zuvor aufgenommenen Sequenz enthalten sein muß. Wenn man daher gezwungen ist, Messungen an einem fokussierten Objekt durchzuführen, wie beispielsweise mit Spektralphotometern bei der Schichtdickenbestimmung, so ist ein solches Verfahren nicht geeignet.



Ein automatisches Fokussierungssystem, welches sich ebenfalls die Bildverarbeitung zunutze macht, jedoch auch für unstrukturierte Oberflächen geeignet sein soll, wird in der US Patentschrift 5,604,344 vorgestellt. In dem dort beschriebenen Verfahren wird eine spezielle Struktur auf die Oberfläche des Meßobjektes abgebildet und dann hinsichtlich ihrer Schärfe analysiert. Bei diesem Verfahren treten wiederum dann Probleme auf, wenn es zu Wechselwirkungen zwischen den abgebildeten Strukturen einerseits und Strukturen im Meßobjekt andererseits kommt.



Das Problem der Bestimmung der Richtung, in die fokussiert werden soll, wird in der Schrift US 5,604,344 in einer Ausführungsvariante dadurch gelöst, daß mehrere Strukturen verwendet werden, die sich in verschiedenen Bildebenen befinden. Allerdings bleibt dabei trotzdem der Nachteil des kleinen Einfangbereichs und damit relativ langer Fokussierungszeiten, da man einen großen Bereich nach und nach absuchen muß, erhalten.

In der Schrift US 5,747,813 wird ein anderes Verfahren beschrieben, welches zur Untersuchung der Probe einen asymmetrischen Meßstrahlengang verwendet, das heißt, einen Strahlengang, bei dem der Einfallswinkel des Lichts auf die Probenoberfläche von 0° verschieden ist. Als Konsequenz verschiebt sich die Lage des Bildfeldes auf einem positionsempfindlichen Detektor – beispielsweise einer Videokamera – entlang einer geraden Linie, wenn der Abstand zwischen Abbildungsoptik und Probe verstellt wird. Bei homogen ausgeleuchtetem Bildfeld soll die Fokussierung dann erreicht werden, wenn sich das Bildfeld zentrisch auf dem Empfänger befindet, wobei zur Feineinstellung die registrierte Intensität verwendet wird und der Fokuspunkt einem Minimum der

registrierten Intensität entspricht. Inhomogenitäten in der Reflexion der Probe, wie sie beispielsweise durch Strukturen hervorgerufen werden, führen jedoch leicht zu einer Verfälschung dieser Analyse und eine Fokussierung gelingt nicht.

- 5 Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art dahingehend weiterzuentwickeln, daß die Zuverlässigkeit der Fokussierung verbessert wird und insbesondere auch eine zuverlässige automatische Fokussierung auf in der Reflexion inhomogene Proben realisiert werden kann.
- 10 Erfindungsgemäß wird die Aufgabe bei einem Verfahren der oben beschriebenen Art dadurch gelöst, daß jedem Intensitätswert in Abhängigkeit davon, ob eine Helligkeitsschwelle über- oder unterschritten wird, der Wert „hell“ bzw. „dunkel“ zugeordnet wird, das kleinste Rechteck bestimmt wird, welches auf der Empfangsfläche alle Positionen, deren Intensitätswert „hell“ ist, um-
- 15 schließt, der geometrische Mittelpunkt dieses Rechtecks bestimmt wird, die Position des geometrischen Mittelpunktes mit der Position auf der Empfangsfläche verglichen wird, die dem geometrischen Mittelpunkt des von der Feldblende erzeugten Bildes im fokussierten Zustand entspricht, und eine dem Abstand der beiden Punkte entsprechende Änderung des Abstandes zwischen der Probe und der abbildenden Optik vorgenommen wird.
- 20 Die Feldblende, deren Öffnung abgebildet wird und deren Bild auf der Empfangsfläche damit das Bildfeld bestimmt, muß sich dabei nicht permanent im Strahlengang des Meßlichtstrahls befinden, sondern kann ein- und nach erfolgter Fokussierung wieder ausgeschwenkt werden. Die Öffnung der Feldblende kann dabei eine nahezu beliebige geometrische Form aufweisen. Au-
- 25 ßerdem muß die Öffnung der Feldblende so gewählt werden, daß das Bild, welches auf der Empfangsfläche erzeugt wird, d.h. das auf der Empfangsfläche entstehende Bild der Feldblende, kleiner als die Empfangsfläche selbst ist: Das Licht fällt asymmetrisch, d.h. mit einem von 0° verschiedenen Winkel
- 30 auf die Probe, daher verschiebt sich das Bildfeld bzw. dessen Mittelpunkt auf der Empfangsfläche entlang einer Geraden, wenn der Abstand zwischen Pro-

be und abbildender Optik, d.h. die Höhe der Probe, verstellt wird. Zu jeder Lage des Bildes auf der Empfangsfläche korrespondiert daher auch ein entsprechender Abstand zwischen Probe und Abbildungsoptik.

- 5 Zur Bestimmung der Lage des Bildes der Feldblende auf der Empfangsfläche wird zunächst jedem registrierten Intensitätswert in Abhängigkeit von einer vorgegebenen Helligkeitsschwelle der Wert „hell“ zugeordnet, falls er oberhalb der Helligkeitsschwelle liegt, bzw. „dunkel“, falls er unterhalb der Helligkeitsschwelle liegt.

- 10 Im nächsten Schritt wird nun das kleinste Rechteck ermittelt, welche auf der Empfangsfläche alle Positionen, deren Intensitätswert „hell“ ist, umschließt.

- 15 Von dem so ermittelten Rechteck wird im nächsten Schritt der geometrische Mittelpunkt bestimmt, und die Position dieses Punktes mit der Position auf der Empfangsfläche verglichen, die dem geometrischen Mittelpunkt des Bildes der Feldblende im fokussierten Zustand entspricht. Wie oben schon erwähnt, entspricht jede Lage des Bildes der Feldblende, und damit auch die Position seines geometrischen Mittelpunkts, einem Abstand zwischen Probe und Abbildungsoptik. Der geometrische Mittelpunkt des Bildfeldes wird entlang einer Geraden verschoben. Definiert man nun ein kartesisches Koordinatensystem auf der Empfangsfläche mit x- und y-Koordinaten und benutzt eine Gleichung der Form $y = mx + n$ mit der Steigung m und dem Achsenabschnitt n für die Gerade, so reicht die Bestimmung der Differenz zwischen den Koordinaten der beiden Punkte, entweder in x- oder in y-Richtung aus, um die nötige Änderung des Abstandes zwischen Probe und Abbildungsoptik zu bestimmen, diese Abstandsänderung kann dann vorgenommen werden. Dabei ist es schon
25 ausreichend, die Differenz bezüglich nur einer Koordinate, entweder x oder y, zu bestimmen, die andere Koordinate kann zu einer Überprüfung mit herangezogen werden. Die abbildende Optik kann auch so konstruiert sein, daß die Gerade parallel zur x- oder zur y-Richtung verläuft. In diesem Fall hat man nur eine der beiden Koordinaten zur Verfügung und kann auch keine Geradengleichung bestimmen. Dennoch besteht ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Position des geometrischen Mittelpunkts des Rechtecks
30

auf der Geraden und dem Abstand zum Fokuspunkt. In jedem Fall wird vorab eine Systemkalibrierung in Abhängigkeit von der verwendeten Optik – so spielt beispielsweise die Vergrößerung des Objektivs eine wesentliche Rolle – durchgeführt, bei der gegebenenfalls die Parameter m und n der Geradengleichung bestimmt werden. Dazu wird eine bezüglich der Reflexion sehr regelmäßige, unstrukturierte Testprobe analysiert. Auf dieser wird der fokussierte Zustand der Probe angelernt, d.h. es werden die Sollwerte für die Positionen der geometrischen Mitte und die Seitenverhältnisse des Bildes der Feldblende bei diesen Positionen bestimmt. Um die Gerade bzw. die Abhängigkeit der Position der geometrischen Mitte vom Abstand der abbildenden Optik zu bestimmen, wird gezielt defokussiert und in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Probe und Abbildungsoptik der geometrische Mittelpunkt des Bildes der Feldblende bestimmt.

Im letzten Schritt wird schließlich eine dem Abstand der beiden Punkte entsprechende Änderung des Abstandes zwischen der Probe und der abbildenden Optik vorgenommen. Durch den umkehrbar eindeutigen Zusammenhang zwischen der Lage des Bildes der Feldblende im Bildfeld und des Abstandes der Probe zur abbildenden Optik, auch als Z-Position der Probe bezeichnet, kann prinzipiell mit einem Schritt auf die Probe fokussiert werden. Bei Verwendung eines Objektivs mit 15-facher Vergrößerung und einer Apertur von 0,28 liegt der Fangbereich bei bis zu $\pm 200 \mu\text{m}$ um den Fokuspunkt – üblich sind hier bei herkömmlichen Anordnungen etwa $\pm 5 \mu\text{m}$. Sollte durch eine starke Defokussierung der geometrische Mittelpunkt nicht genau ermittelt werden können – Gründe hierfür können beispielsweise Strukturteile mit niedrigem Reflexionsgrad oder das Erreichen des Bildfeldrandes sein – so führt der Fokussierschritt zwar nicht zu einer vollständigen Fokussierung der Probe, jedoch mindestens zu einer Annäherung an den fokussierten Zustand, so daß eine Wiederholung der Prozedur die Probe fokussieren kann. Da außerdem die geometrische Mitte und nicht die energetische Mitte zur Analyse verwendet wird, ist das Verfahren auch sehr robust gegen Inhomogenitäten in der Reflexion.

Bei der Durchführung des Verfahrens kann es unter Umständen vorkommen, daß das Bild der Feldblende auf der Empfangsfläche beschnitten worden ist, beispielsweise durch besonders unregelmäßige Strukturen. In diesem Fall wird der bei der Analyse ermittelte geometrische Mittelpunkt des Rechtecks

5 nicht auf der vorab bestimmten Geraden liegen. In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird daher analysiert, ob der geometrische Mittelpunkt des Rechtecks auf einer vorgegebenen Geraden liegt. Ist dies nicht der Fall, weichen durch den Beschnitt des Bildes der Blende auch die Seitenverhältnisse des Rechtecks von denen ab, die bei der Kalibrierung bestimmt wurden.

10 Die Seitenverhältnisse werden dann so verändert und an die vorgegebenen Seitenverhältnisse angepaßt, daß der geometrische Mittelpunkt dabei auf die vorgegebene Gerade verschoben wird. Erst dann wird die Abstandsänderung anhand des korrigierten geometrischen Mittelpunkts durchgeführt. Äquivalent zur Analyse, ob der geometrische Mittelpunkt auf der vorgegebenen Geraden

15 liegt, ist im obigen Sinne selbstverständlich auch die Analyse der Seitenverhältnisse des Rechtecks.

Nur unter äußerst ungünstigen, in der Regel sehr seltenen Umständen kann es auch passieren, daß zwar ein Rechteck mit den korrekten Seitenverhältnissen ermittelt wird, dessen geometrischer Mittelpunkt aber nicht auf der Geraden liegt, die die Verschiebung des Bildfeldes bestimmt. Bei einer quadratischen Blende kann dies beispielsweise der Fall sein, wenn zwei aneinander

20 anschließende Seitenlängen des Quadrats in der Abbildung im gleichen Maße verkürzt werden. Diese Abweichungen sind in der Regel jedoch sehr klein und können ignoriert werden. Die Abstandsänderung wird in diesem Fall nicht genau fokussieren, jedoch um den Bereich des Fokuspunkts führen, so daß in

25 einem zweiten Schritt erfolgreich fokussiert werden kann.

Hier kann in einer weiteren vorteilhaften Ausführung der Erfindung die Einstellung verbessert werden, indem anhand der registrierten Intensitäten und der Lagen der Kanten der geometrischen Figur zusätzlich die Schärfe der Kanten

30 des Bildfeldes bestimmt wird, und anhand des Vergleichs der Schärfe mit einem vorgegebenen Schärfekriterium die Höhenverstellung bestimmt wird, die

notwendig ist, um das Bildfeld maximal scharf zu stellen. Diese Höhenverstellung wird zur Feineinstellung verwendet.

Als Schärfekriterium kann beispielsweise der Vergleich der Intensitäten zweier vorgegebener Punkte auf der Empfangsfläche verwendet werden, von denen
5 im fokussierten Zustand der eine Punkt innerhalb des Bildes und der andere außerhalb des Bildes liegt. Bei maximaler Intensitätsdifferenz ist das Bild am schärfsten, je geringer die Differenz ist, desto verschwommener ist das Bild. Auch hier läßt sich an einer Testprobe eine Abhängigkeit des Schärfekriteriums von der Z-Position der Probe bestimmen und zur Kalibrierung der Höhenverstellung verwenden, wobei gleichzeitig für die zu untersuchenden Proben jeweils noch eine Normierung bezüglich der maximalen Helligkeit erfolgen kann. Da das Schärfekriterium jedoch ein symmetrisches Verhalten bezüglich des Fokuspunktes aufweist, kann es nicht zur Richtungsbestimmung herangezogen werden, d.h. die Schärfanalyse ist nur zusammen mit den anderen
10 Schritten zur Fokussierung verwendbar.

In einer weiteren zweckmäßigen Ausführung, die auch zur Feineinstellung verwendet wird, wird anhand der registrierten Intensitätswerte die Schärfe innerhalb des Bildfeldes bestimmt, und anhand eines Vergleichs der Schärfe mit einem vorgegebenen Schärfekriterium die Höhenverstellung bestimmt, die
20 notwendig ist, um das Bildfeld maximal scharf zu stellen, und diese Höhenverstellung zur Feineinstellung verwendet.

Die Erfindung soll im folgenden an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden. In den dazu gehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1 eine Anordnung, mit der das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt werden kann,
25

Fig. 2 eine mögliche Ausgestaltung einer Feldblende,

Fig. 3 die Abbildung einer quadratischen Feldblende im defokussierten Zustand und das ermittelte Rechteck,

Fig. 4 drei verschiedene Höheneinstellungen für die Bildebene,

Fig. 5 die aus den drei verschiedenen Höheneinstellungen resultierenden Abbildungen des Bildfeldes auf die Empfangsmatrix der CCD-Einheit, und

5 Fig. 6 die Modifikation eines Rechtecks zur Verschiebung seines geometrischen Mittelpunkts auf eine vorgegebene Gerade,.

In Fig.1 ist zunächst eine Anordnung gezeigt, mit der das Verfahren durchgeführt werden kann. Eine Lichtquelle 1 erzeugt Licht in einen großen Wellenlängenbereich. Durch eine Linsenordnung 2 wird das Licht zu einem Lichtstrahl 3 gebündelt. Der Lichtstrahl 3 tritt durch eine weitere Linsenordnung 4, eine Aperturblende 5, eine weitere Linsenordnung 6 und eine Feldblende 7, bevor er auf einen Strahlteiler 8 trifft. Am Strahlteiler 8 wird der Meßlichtstrahl aufgespalten. Ein Teil wird als Referenzlichtstrahl 9 über eine Linsenordnung 10 zu einer Lichtleiteinrichtung 11 geleitet, die das Lichtsignal zu einer Meßanalyseeinrichtung 12 weiterleitet. Der andere Teil wird als Meßlichtstrahl 13 über Spiegel 14, 15 und 16 auf den Meßpunkt M auf der Probe P, die sich in einer Halterung H befindet, abgebildet. Der dort reflektierte Meßlichtstrahl 13 erreicht nach Reflexion an einem Spiegel 17 sowie Spiegel 16, nach Durchtritt durch einen Pinhole-Spiegel 18 und durch eine Sammellinse 19 den Eingang einer Lichtleiteinrichtung 20, die ihn zur Meßanalyseeinrichtung 12 weiterleitet.

Der Pinhole-Spiegel 18 ist teildurchlässig ausgebildet. Der für die automatische Fokussierung notwendige Teilstrahl wird dort reflektiert und über einen Umlenkspiegel 21 sowie eine Linsengruppe 22 auf eine positionsempfindliche Empfangsfläche 23, die hier beispielhaft als Empfangsmatrix einer CCD-Einheit ausgebildet ist, abgebildet.


Diese ist mit einer Auswerteeinheit 24 verbunden, die wiederum mit einer Steuerung zur Höhenverstellung 25 der Halterung H verbunden ist. Wird die Halterung H in der Höhe verstellt, so ist dies gleichbedeutend mit einer Änderung des Abstands zwischen der Probe P und der abbildenden Optik.

Bei der automatischen Fokussierung wird die Feldblende 7 mittels des Meßlichtstrahls 13 auf die Probe P abgebildet. Ein einfaches Beispiel für eine Feldblende 7 ist in Fig. 2 gezeigt, wo die Feldblende 7 einen quadratischen Ausschnitt zum Lichtdurchtritt hat, entsprechend wird das von ihr erzeugte Bild im fokussierten Zustand ebenfalls quadratisch sein. Die Form der Feldblende 7 ist dabei jedoch nicht wesentlich und kann alle möglichen geometrischen Gestalten aufweisen, da in der Auswertung letztendlich immer ein Rechteck 26 analysiert wird. Im defokussierten Zustand wird zudem das Bild der Feldblende 7 immer als heller Fleck zu sehen sein, wie beispielsweise in Fig.3 zu sehen.


Das durch die Feldblende 7 festgelegte Bildfeld wird nun auf die Empfangsmatrix der CCD-Einheit abgebildet. Die Feldblende 7 muß so konstruiert sein, daß ihre Abbildung auf der Empfangsmatrix der CCD-Einheit ein Bild erzeugt, das kleiner oder gleich groß der Fläche der Empfangsmatrix ist, da ansonsten im Bereich des Fokuszustandes die Abhängigkeit des geometrischen Mittelpunktes von der Z-Position der Probe nicht verwertbar ist. Prinzipiell funktioniert das Verfahren allerdings auch dann, wenn das erzeugte Bild genau so groß wie die Empfangsfläche ist. Von der CCD-Einheit werden die empfangenen Daten, d.h. die Intensitätswerte in Zuordnung zu Positionen auf der Empfangsmatrix, an die Auswerteeinheit 24 weitergeleitet. In der Auswerteeinheit 24 wird dann von dem aufgenommenen Bild eine sogenannte Blob-Analyse durchgeführt, bei der die Pixel jeweils den Wert „hell“ oder „dunkel“ zugewiesen bekommen, je nachdem, ob die von ihnen registrierte Intensität über oder unterhalb einer vorgegebenen Helligkeitsschwelle liegt. Werden die Intensitäten beispielsweise auf einer Skala von 0 (schwarz) bis 255 (weiß) bewertet und liegt die hellste registrierte Intensität zwischen 80 und 160, so ergibt beispielsweise eine Helligkeitsschwelle von 32 in der Regel ein für die weitere Auswertung verwertbares Ergebnis. Die maximale Intensität kann durch die Veränderung der Belichtungszeit für die Empfangsfläche verändert werden.

Im nächsten Schritt wird das kleinste Rechteck 26 gesucht, das alle Positionen auf der Empfangsmatrix der CCD-Einheit umschließt, deren Intensitätswert „hell“ ist.

Dabei kann es sinnvoll sein, vor der Bestimmung des Rechtecks 26 eine Glättungsfunktion auf die Intensitätswerte anzuwenden, bei der die Helligkeit jedes Pixels unter Berücksichtigung der Helligkeiten der benachbarten Pixel bestimmt wird. Auf diese Weise kann verhindert werden, daß ein beispielsweise durch
5 einen Fehler in der Abbildungsoptik zustande gekommener Wert hoher Intensität, der nur von dunklen Stellen umgeben ist und weit außerhalb des eigentlichen von der Feldblende erzeugten Bildes liegt, in der Analyse berücksichtigt wird und ein falsches, viel zu großes Rechteck 26 ermittelt wird.



Von der auf diese Weise konstruierten Figur wird der geometrische Mittelpunkt bestimmt. Dies ist in Fig. 3 dargestellt. Im defokussierten Zustand wird die
10 Feldblende 7 als heller Fleck abgebildet, der nicht mehr an die ursprüngliche Form der Feldblende 7 erinnert. In Figur 4 ist die Helligkeitsverteilung invertiert dargestellt, d.h. es korrespondieren, ähnlich wie bei der Belichtung von Filmen, hohe Intensitäten zu dunklen Stellen, bzw. niedrige Intensitäten zu hellen Stellen. Das Kreuz in der Mitte des Rechtecks 26 kennzeichnet den ermittelten geometrischen Mittelpunkt.
15



Dessen Lage wird dann mit der Position auf der Empfangsfläche 23 verglichen, die dem geometrischen Mittelpunkt des von der Feldblende 7 erzeugten Bildes im fokussierten Zustand entspricht und auf einer vorab in der Auswerteeinheit 24 eingespeicherten Kalibriergeraden liegt. Die Kalibriergerade wird
20 durch gezielte Defokussierung bei Verwendung derselben Feldblende 7 an einem bekannten System ermittelt und kann für alle folgenden Messungen mit dieser Feldblende 7 verwendet werden.

Jede Position auf der Kalibriergeraden entspricht einer anderen Höheneinstellung bzw. einer anderen Bildebene. Dies ist in den Figuren 4 und 5 verdeutlichend dargestellt. In Fig. 4 sind Meßpositionen in drei verschiedenen Bildebenen a, b und c dargestellt. Höhe a entspricht einer extrafokalen Lage der Probe P, Höhe c einer intrafokalen Probenlage. In Höhe b befindet sich die Probe P genau im Fokus. In Fig. 5 sind die entsprechenden Abbildungen einer Feldblende 7, wie sie in Fig. 2 gezeigt ist, auf der positionsempfindlichen Empfangsfläche dargestellt. Mit der Variation der Höhe verlagert sich der geometrische
25
30

rische Mittelpunkt der Abbildungen bzw. der sie umschließenden Rechtecke 26 oder Quadrate entlang einer Geraden, in der Regel wird die Abbildung auch immer undeutlicher und ähnelt immer weniger einem Quadrat, je mehr Bild- und Fokusebene voneinander abweichen. Auch die Größe verändert sich, mit zunehmender Defokussierung wird das Rechteck 26, daß das Bild der Feldblende umschließt, immer größer.

10 Befindet sich der geometrische Mittelpunkt des Rechtecks 26 nicht auf der Kalibriergeraden, muß zuvor noch eine Korrekturrechnung durchgeführt werden, um das Rechteck 26 bzw. seine Lage so zu verändern, daß sein geometrischer Mittelpunkt auf der Kalibriergeraden liegt. Dies ist in Fig. 6 beispielhaft dargestellt. Die vorgegebene Gerade ist als Diagonale gestrichelt dargestellt, der Fokuspunkt als großes Kreuz. Der geometrische Mittelpunkt des zunächst ermittelten Rechtecks 26, dargestellt durch das kleine, durchgezogene Kreuz als Mittelpunkt des durchgezogenen Rechtecks 26, liegt hier oberhalb der

15 vorgegebenen Geraden. Eine Überprüfung des Seitenverhältnisses zeigt, daß die vertikalen Seiten gegenüber den horizontalen verkürzt sind. In diesem Fall wird der geometrische Mittelpunkt vertikal nach unten verschoben, die Seitenlängen in vertikaler Richtung werden um das Doppelte des Abstandes des geometrischen Mittelpunkts von der Geraden in vertikaler Richtung nach unten verlängert. Dies ist im Bild durch den Pfeil nach unten angedeutet. Das



20 resultierende Rechteck 26a ist gepunktet dargestellt, sein durch ein gepunktetes Kreuz gekennzeichnete geometrischer Mittelpunkt liegt nun auf der Geraden.

25 Schließlich wird anhand des Abstandes des geometrischen Mittelpunkts der Figur und dem geometrischen Mittelpunkt des Bildfeldes im fokussierten Zustand auf der Kalibriergeraden in der Auswerteeinheit 24 die Höhenverstellung bestimmt, die nötig ist, um die beiden Punkte in Deckung zu bringen, d.h., die Probe P genau in den Fokus zu bringen. Die nötige Höhenverstellung wird dann an die Steuerung zur Höhenverstellung 25 übermittelt, die automatisch

30 die entsprechende vertikale Verschiebung der Halterung H vornimmt. Sollte die in diesem Schritt durchgeführte Fokussierung nicht genau genug sein, so kann in einem weiteren Präzisierungsschritt, bei dem die Schärfe des Randes

der Abbildung der Feldblende 7 analysiert wird, eine Feineinstellung vorgenommen werden.

Bezugszeichenliste

	5	1	Lichtquelle
		2	Linsenanordnung
		3	Lichtstrahl
		4	Linsenanordnung
		5	Aperturblende
	10	6	Linsenanordnung
		7	Feldblende
		8	Strahlteiler
		9	Referenzlichtstrahl
		10	Linsenanordnung
	15	11	Lichtleitereinrichtung
		12	Meßanalyseeinrichtung
		13	Meßlichtstrahl
		14, 15, 16, 17	Spiegel
		18	Pinhole-Spiegel
	20	19	Sammellinse
		20	Lichtleiteinrichtung
		21	Umlenkspiegel
		22	Linsengruppe
		23	positionsempfindliche Empfangsfläche
25		24	Auswerteeinheit
		25	Steuerung zur Höhenverstellung
		26, 26a	Rechteck
		P	Probe
		H	Halterung
		M	Meßpunkt

a, b, c

Höheneinstellungen der Halterung

Patentansprüche

1. Verfahren zur automatischen Fokussierung auf die Oberfläche einer Probe (P), bei dem
- die Probe (P) durch einen Meßlichtstrahl (13) beleuchtet wird, der mit einem von 0° verschiedenen Einfallswinkel auf die Oberfläche der Probe (P) trifft,
 - von der Oberfläche der Probe (P) reflektiertes Licht mittels einer positionsempfindlichen Empfangsfläche (23) detektiert wird,
 - Intensitätswerte des reflektierten Lichts in Zuordnung zu Positionen auf der Empfangsfläche (23) registriert und bewertet werden und
 - die Öffnung einer Feldblende (7) auf die Empfangsfläche (23) abgebildet wird und dabei ein Bild, das kleiner als die Empfangsfläche (23) ist, erzeugt,
 - **dadurch gekennzeichnet, daß**
 - jedem Intensitätswert in Abhängigkeit davon, ob eine Helligkeitsschwelle über- oder unterschritten wird, der Wert „hell“ bzw. „dunkel“ zugeordnet wird,
 - das kleinste Rechteck (26) bestimmt wird, welches auf der Empfangsfläche (23) alle Positionen, deren Intensitätswert „hell“ ist, umschließt,
 - der geometrische Mittelpunkt dieses Rechtecks (26) bestimmt wird,
 - die Position des geometrischen Mittelpunktes mit der Position auf der Empfangsfläche (23) verglichen wird, die dem geometrischen Mittelpunkt des von der Feldblende (7) erzeugten Bildes im fokussierten Zustand entspricht, und
 - eine dem Abstand der beiden Punkte entsprechende Änderung des Abstandes zwischen der Probe (P) und der abbildenden Optik vorgenommen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der geometrische Mittelpunkt des Rechtecks (26) dahingehend untersucht wird, ob er auf einer vorgegebenen Geraden liegt, und, sollte dies nicht der Fall sein, die Seitenverhältnisse des Rechtecks (26) so modifiziert werden, daß der geometrische Mittelpunkt des Rechtecks (26) auf die Gerade verschoben wird.
- 5
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß
- anhand der registrierten Intensitäten und der Lagen der Kanten der geometrischen Figur zusätzlich die Schärfe der Kanten des Bildfeldes bestimmt wird,
- 10
- anhand des Vergleichs der Schärfe mit einem vorgegebenen Schärfekriterium die Höhenverstellung bestimmt wird, die notwendig ist, um das Bildfeld maximal scharf zu stellen,
 - und diese Höhenverstellung zur Feineinstellung verwendet wird.
- 15
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß
- anhand der registrierten Intensitätswerte die Schärfe innerhalb des Bildfeldes bestimmt wird,
- 20
- anhand eines Vergleichs der Schärfe mit einem vorgegebenen Schärfekriterium die Höhenverstellung bestimmt wird, die notwendig ist, um das Bildfeld maximal scharf zu stellen,
 - und diese Höhenverstellung zur Feineinstellung verwendet wird.

Zusammenfassung

- Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur automatischen Fokussierung auf die Oberfläche einer Probe P, bei dem die Probe P durch einen Meßlichtstrahl 13, der mit einem von 0° verschiedenen Einfallswinkel auf die Probenoberfläche trifft, beleuchtet wird, von dort reflektiertes Licht mittels einer positionsempfindlichen Empfangsfläche (23) detektiert wird, Intensitätswerte in Zuordnung zu Positionen auf der Empfangsfläche (23) registriert und bewertet werden und die Öffnung einer Feldblende 7 auf die Empfangsfläche (23) abgebildet wird und dabei ein Bild, das kleiner als die Empfangsfläche (23) ist, erzeugt.
- Bei einem solchen Verfahren wird jedem Intensitätswert in Abhängigkeit von einer Helligkeitsschwelle der Wert „hell“ bzw. „dunkel“ zugeordnet, das kleinste Rechteck (26) bestimmt, welches auf der Empfangsfläche (23) alle „hellen“ Positionen umschließt, der geometrische Mittelpunkt dieses Rechtecks (26) bestimmt, die Position dieses Punktes mit der Position auf der Empfangsfläche (23) verglichen wird, die dem geometrischen Mittelpunkt des von der Feldblende 7 erzeugten Bildes im fokussierten Zustand entspricht, und eine dem Abstand der beiden Punkte entsprechende Änderung des Abstandes zwischen der Probe (P) und der abbildenden Optik vorgenommen.

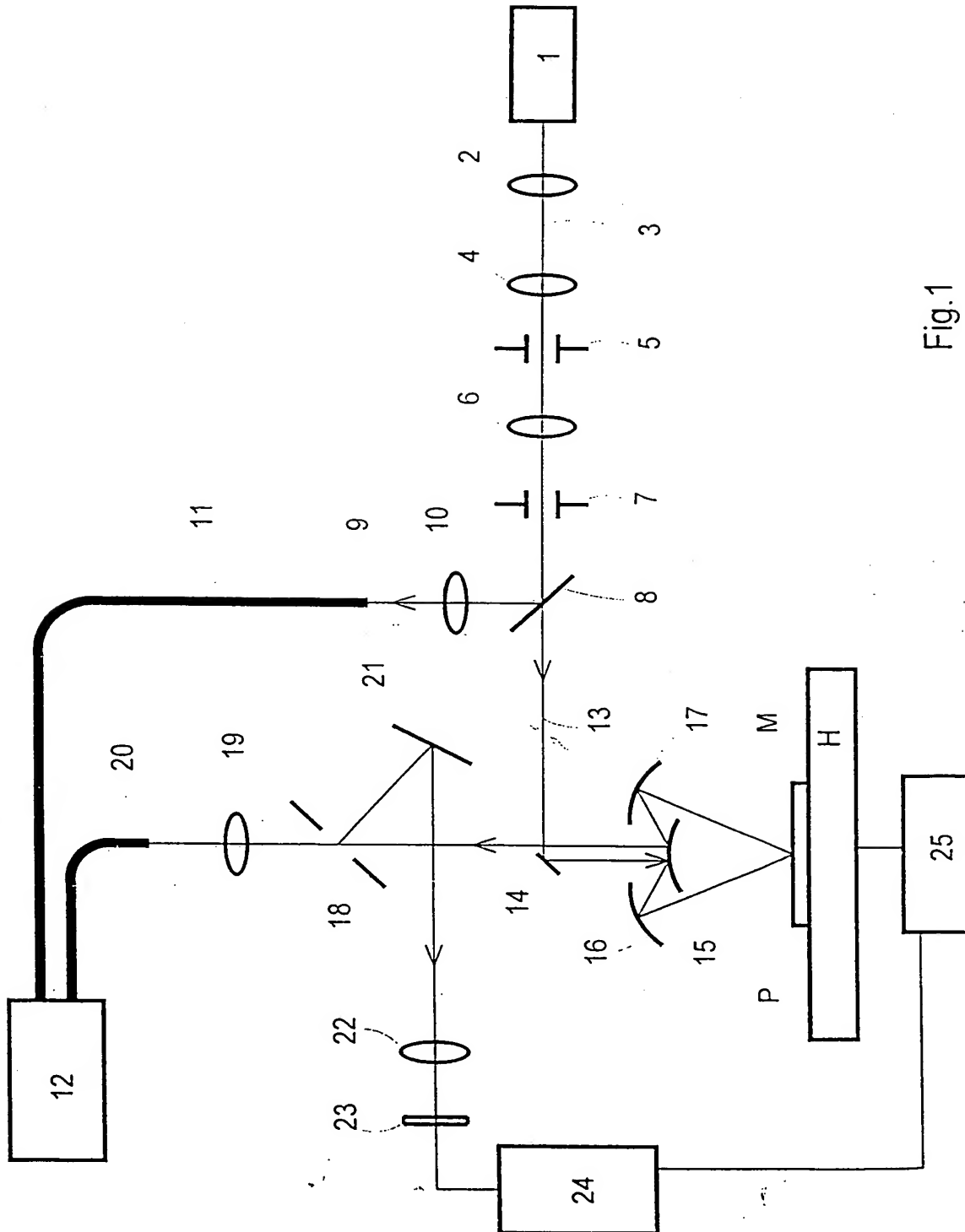


Fig.1

2/4

7

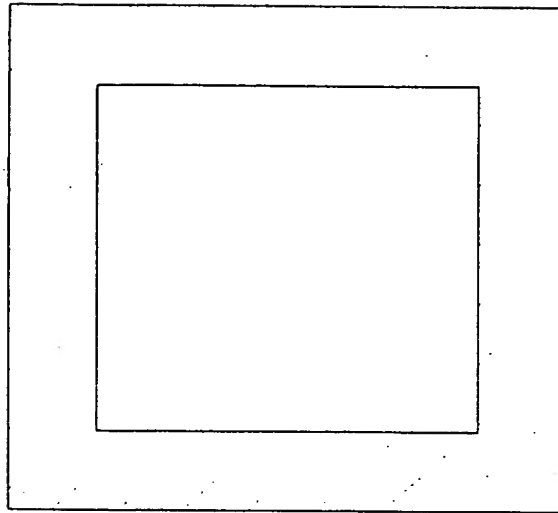
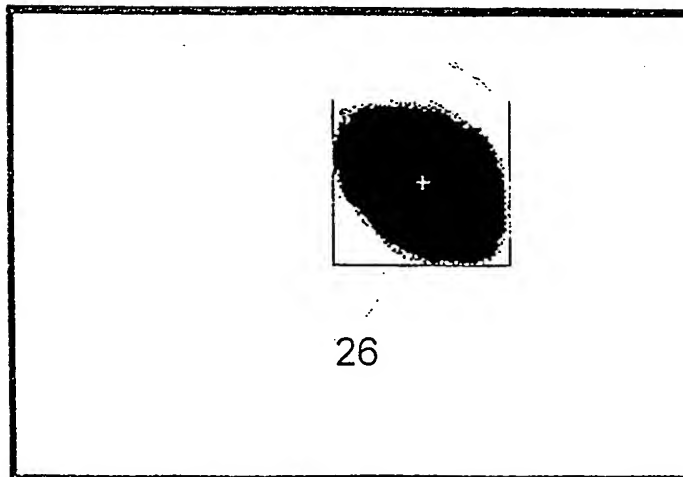


Fig.2

23



26

Fig.3

3/4

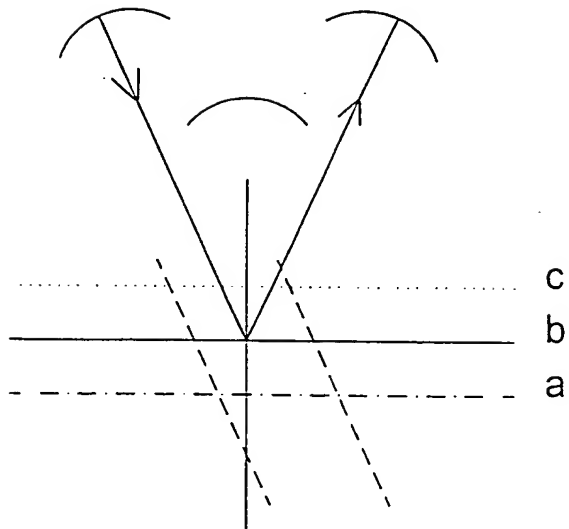
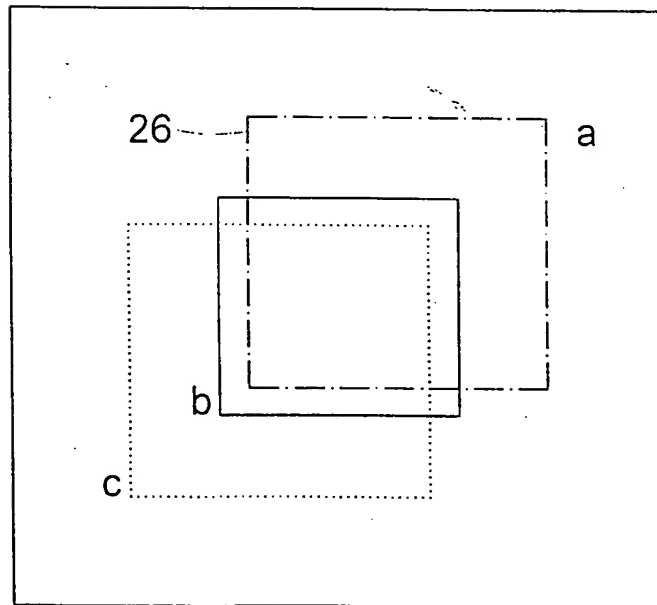


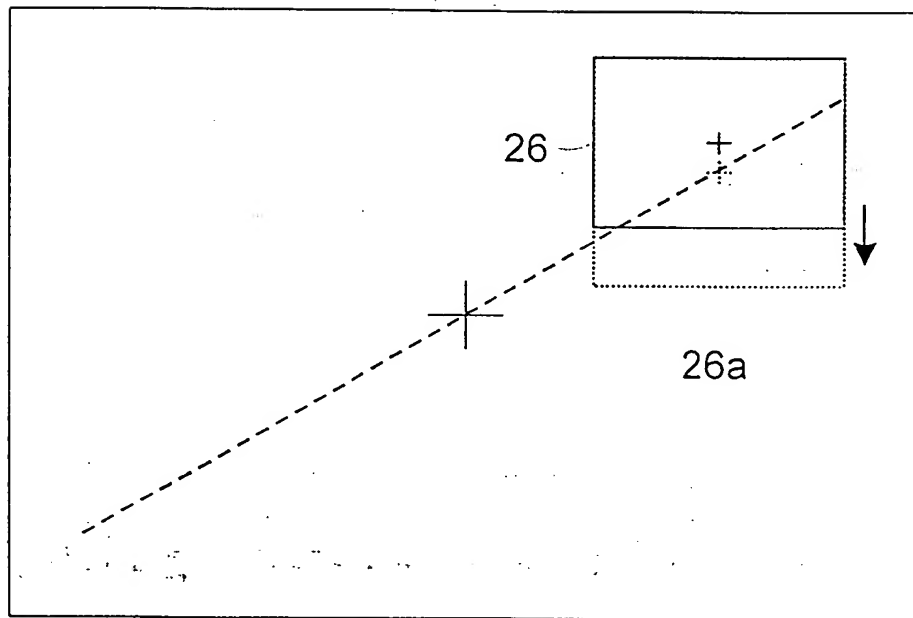
Fig.4



23

Fig.5

4/4



23

Fig.6